3B SCIENTIFIC® PHYSICS

U10345 Espelho de Fresnel

Instruções para o uso

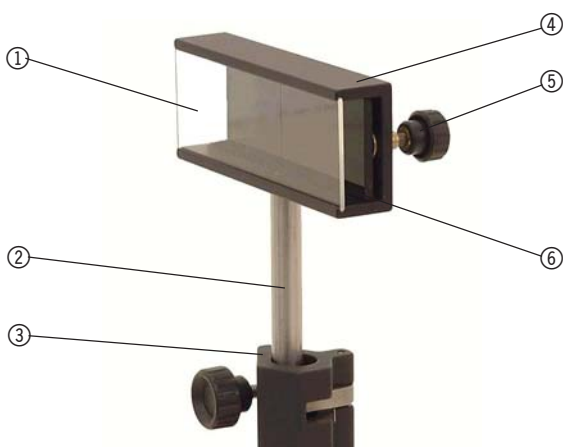
11/04 MH

① Vidro de proteção de acrílico
② Barra, 10 mm de diâmetro, de aço fino
③ Cavalete ótico (não incluído no fornecimento)
④ Armação de alumínio anodizado preto
⑤ Parafuso para ajustar o espelho
⑥ Espelhos de superfície de acrílico preto

Fig. 1: componentes

Com o espelho de Fresnel podem ser realizadas experiências com a interferência na luz monocromática coerente, sendo que através dos dois espelhos uma fonte luminosa se transforma em duas fontes luminosas virtuais, as quais então interferem.

1. Indicações de segurança

- Ao utilizar um laser, deve-se respeitar estritamente as regras de segurança, por exemplo, nunca olhe diretamente para o feixe!
- Durante as experiências, nenhum observador deve se sentir ofuscado.

2. Descrição

A ideia de Fresnel de levar fontes luminosas a interferir por meio de dois espelhos está representada na ilustração 2. A luz emitida a partir do ponto luminoso P (feixe laser paralelo com lente prévia) é refletida por dois espelhos de tal forma que os dois feixes parciais se sobrepõem e interferem um com o outro. A análise dos resultados da experiência pode ser efetuada matematicamente de modo simples, ou fisicamente de modo compreensível, determinando-se a distância entre os dois pontos luminosos virtuais P_1 e P_2, e calculando-se o padrão de interferência como sobreposição de ondas circulares emitidas por P_1 e P_2 .

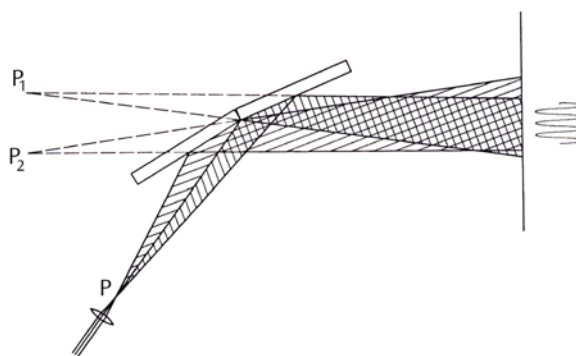



Fig. 2: princípio de funcionamento do espelho de Fresnel.

O espelho de Fresnel consiste em dois espelhos parciais de acrílico transparente de 29 mm x 45 mm cada um. Sendo que nas experiências instala-se um feixe luminoso enviesado, assim chega-se à reflexão total e o acrílico age como um espelho de superfície. Um dos espelhos está fixo na armação, enquanto que o outro é ajustável numa faixa de aprox. –0,5° até +2°. Na frente dos espelhos encontra-se uma placa de proteção de acrílico, a qual não precisa ser retirada para se executar a experiência. Assim são evitados contatos involuntários com os espelhos. A barra de apoio tem um diâmetro de 10 mm e está calculada no seu comprimento para que resulte uma altura padrão do centro do espelho de 150 mm.

3. Operação e manutenção

- O espelho de Fresnel é operado com um feixe luminoso enviesado, sendo que o espelho está inclinado num ângulo de aprox. 1° a –2° com relação ao feixe. Depois que a fonte luminosa tenha sido ajustada de forma que ambos espelhos estejam iluminados com a mesma intensidade, pode-se modificar o ângulo de inclinação dos feixes entre eles girando-se o parafuso de ajuste ⑤ .
- **Manutenção:** em princípio, o espelho de Fresnel não necessita manutenção. Para a limpeza, pode-se limpa-lo com um pano úmido (água com detergente caseiro. O espelho deve ser, sempre que possível, desempoeirado só a seco com um pincel suave. Caso necessário, pode-se também efetuar a limpeza com uma solução de detergente num pano suave.
- **Armazenamento:** o armazenamento deve ocorrer num local livre de poeira, de preferência com uma capa protetora de plástico esticada por cima do aparelho.

4. Execução da experiência e análise de resultados

- A seguir estão duas experiências descritas. No capítulo 4.1 é apresentada uma montagem simples e compacta, o qual leva a largas bandas claras de interferência mas que ainda não foram analisadas quantitativamente. No capítulo 4.2 é mostrada a experiência “clássica” e por meio de um exemplo, esta é analisada.

4.1 Experiência de interferência qualitativa compacta

- O seguintes aparelhos são necessários:
  1 x U10302 Banco ótico com perfil de três arestas, 0,5 m de comprimento
  1 x U10312 Cavalete ótico, 120 mm de altura, 50 mm de largura
  1 x U10311 Cavalete ótico, 90 mm de altura, 50 mm de largura
  2 x U10310 Cavalete ótico, 60 mm de altura, 50 mm de largura
  1 x U10331 Braço de alongamento
  1 x U43001 Laser He-Ne
  1 x U10345 Espelho de Fresnel
  1 x Lente de ampliação, por ex. f = 5 mm
  1 x U17125 Tela de observação
- A montagem da experiência pode ser vista na ilustração 3. O espelho de Fresnel está numa inclinação de aprox. 1° em relação ao laser. A lente está fora do feixe no início. Girando o laser no cavalete ótico, ajusta-se o feixe de tal forma que ele incide nos dois espelhos e surgem dois pontos luminosos de igual luminosidade na tela de observação (caso seja necessário, pode-se alterar a inclinação do espelho por meio do parafuso de ajuste ⑤). Logo, leva-se os dois pontos a se sobrepor na tela de observação girando o parafuso de ajuste. Quando agora, a lente é colocada no eixo do feixe, deveria aparecer uma imagem de interferência, a qual pode ficar ainda mais focalizada com um ajuste posterior do laser.

Fig. 3: montagem do ensaio “Experiência compacta de interferência”

4.2 Experiência clássica de interferência

4.2.1 Montagem da experiência

- Os seguintes aparelhos são necessários:
  1 x U10302 Banco ótico com perfil de três arestas, 0,5 m de comprimento
  1 x U10312 Cavalete ótico, 120 mm de altura, 50 mm de largura
  1 x U10311 Cavalete ótico, 90 mm de altura, 50 mm de largura
  2 x U10310 Cavalete ótico, 60 mm de altura, 50 mm de largura
  1 x U43001 Laser He-Ne
  1 x U10345 Espelho de Fresnel
  1 x Lente de ampliação, por ex. f = 5 mm
  1 x U17104 Lente convexa, f = 200 mm
- A montagem da experiência pode ser vista na Fig. 4. Primeiro monta-se o laser e a lente de ampliação e estes são orientados de modo a que o feixe laser ampliado ao passar pela lente tenha um percurso paralelo ao cavalete ótico. O percurso do feixe pode então ser visualizado utilizando uma folha de papel. Não olhe diretamente para o feixe! A seguir, monta-se o espelho de Fresnel num ângulo de inclinação de aprox. 1 a 2° em relação ao laser.
- Girando o parafuso de ajuste ⑤ deveria surgir agora uma imagem que pode ser ajustada sobre a tela a 2 - 3 m de distância, a qual, no geral, corresponde à ilustração 5. À esquerda, ao lado do desenho da imagem da interferência, será vista mais uma área clara, que é originado pela luz que incide além dos espelhos. Ao lado das listras do próprio desenho da imagem da interferência, dependendo da qualidade e do estado de limpeza do laser e do espelho, podem ser vistas outras listras e anéis. Uma definição de qual são as listras realmente produzidas pelos espelhos é fácil de se obter girando o parafuso de ajuste ⑤ . Só as listras que modificam a sua largura são “verdadeiras” listras de interferência. A sua distância deve poder ser ajustada numa faixa de aprox. 1 a 4 mm.

Fig. 4: montagem do ensaio “Experiência clássica de interferência”. Posição dos elementos (aresta esquerda do cavalete ótico): laser: 0 mm; lente f = 5 mm: 150 mm; espelho de Fresnel: 220 mm; lente f = 200 mm (só montado quando a distância da fonte luminosa virtual é medida): aprox. 380 mm. A imagem da interferência será visível de 2 a 3 m de distância sobre uma tela (ou numa parede clara).

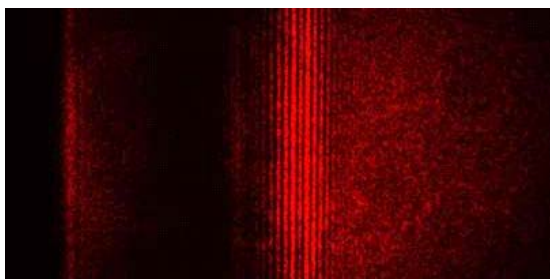



Fig. 5: imagem de interferência na tela de observação. Na margem esquerda vê-se mais uma listra clara, a qual é originada pela luz que incide fora do espelho.

4.2.2 Execução da experiência

- Ao iniciar a experiência, primeiro determina-se a distância D das listras de interferência. Caso, por exemplo, a distância entre 7 a máxima de 24 ± 1 mm, então D = 3,43 mm.
- Depois, monta-se a lente de 200-mm e, caso necessário, ajusta-se-a até que duas manchas luminosas claras a aprox. 3 - 15 mm uma da outra apareçam sobre a tela (a luz que passa do espelho gera uma terceira mancha mais longe, à esquerda). Neste caso, pode ser vantajoso que as manchas luminosas sejam maiores do que o tamanho mínimo quando a lente está focalizada. Neste exemplo, a distância das manchas luminosas A = 6,8 mm e foi determinada com calibrador.
- A última grandeza ainda necessária para o cálculo é a distância b entre a lente de 200-mm e a tela de observação (b = 2700 mm).

4.2.3 Cálculo da experiência

- Como já foi exposto graças à ilustração 2, a imagem de interferência pode ser interpretada como sobreposição de duas fontes luminosas pontuais P_1 e P_2. Para que se obtenha um resultado de intensidade máxima na tela de observação, a diferença de passo d entre dois feixes originados em P_1 e P_2 tem que corresponder exatamente ao comprimento de onda λ ou ser um múltiplo inteiro de λ. Com as grandezas definidas na ilustração 6 resulta

$$\frac{d}{a} = \sin\varphi \qquad (1)$$

e

$$\frac{D}{L} = \tan\varphi\,. \qquad (2)$$

- No caso de ângulos φ suficientemente pequenos é $\sin\varphi \approx \tan\varphi$. Além disso, seja $d = \lambda$ (primeira máxima). Das equações 1 e 2 resulta então:

$$\lambda = a\,\frac{D}{L} \qquad (3)$$

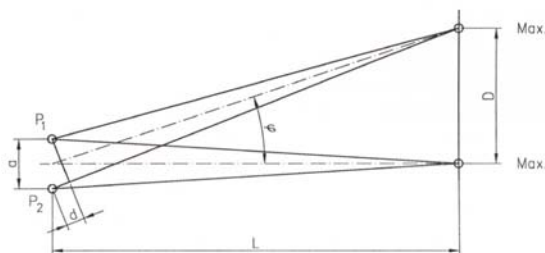
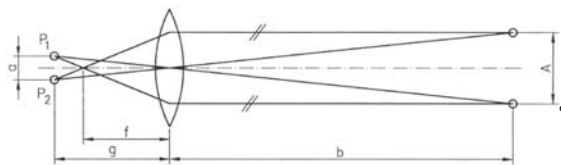



Fig. 6: formação da máxima de intensidade quando $d = n\,\lambda$ é válido (n é um número) inteiro).

Ilustr. 7: determinação da distância a das fontes luminosas pontuais com o uso de uma lente (por ex. f = 200 mm). As distâncias A e b são medidas.

- A determinação da distância entre as fontes luminosas pontuais está representada na ilustração 7. Utilizando-se a regra de feixes resultam diretamente ambas relações

$$\frac{a}{A} = \frac{g}{b} \qquad (4)$$

e

$$\frac{a}{A} = \frac{g-f}{f}\,. \qquad (5)$$

- A igualação de ambas equações para a eliminação de a/A e a solução por g resulta em

$$g = \frac{bf}{b-f}\,. \qquad (6)$$

- Se isto for aplicado na equação 4, então pode-se determinar a e aplicar o valor na equação 3. O comprimento L que ainda falta na equação 3 resulta, conforme a ilustração 7, da soma das duas distâncias g e b. Aplicando-se tudo na equação 3 obtêm-se:

$$\lambda = \frac{ADF}{b^2}$$

- Para este exemplo, obtêm-se λ = 640 nm, o que coincide bem com a indicação do fabricante para o laser utilizado (632,8 nm).